

## **Análise morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego da Água Amarela, Itaberá-SP para gestão ambiental**

*Morphometric analysis of the watershed of Água Amarela Stream, Itaberá-SP for environmental management*

*Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del Arroyo Água Amarela, Itaberá-SP para la gestión ambiental*

**Ana Clara de Barros**

anaclara\_inha@hotmail.com; inha.anaclara@gmail.com

**Felipe de Souza Nogueira Tagliarini**

felipe2057@gmail.com

**Sara Maciel Penachio**

## RESUMO

O seguinte trabalho teve como objetivo realizar a caracterização morfométrica da microbacia do córrego Água Amarela, Itaberá-SP, por meio de técnicas de geoprocessamento. Foram calculados os parâmetros morfométricos: declividade, razão de relevo, densidade de drenagem, coeficiente de rugosidade, fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade. Os resultados mostraram que a microbacia possui um formato ondulado, com interpretação ambiental para alta tendência a enchentes e erosões, com baixo escoamento superficial e maior infiltração, o que possibilita inferir que o solo da microbacia é permeável e a infiltração da água ocorre de forma mais eficiente. Desta forma, a avaliação morfométrica em conjunto com ferramentas de geoprocessamento, torna possível o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos visando sua conservação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conservação Ambiental, Geoprocessamento, Bacia Hidrográfica.

## ABSTRACT

The following study aimed to perform the morphometric characterization of the watershed Água Amarela Stream, Itaberá-SP, through geoprocessing techniques. Were calculated the morphometric parameters of: slope, reason of topographic relief, drainage density, roughness coefficient, form factor, circularity index and coefficient of compactness. The results showed that the watershed has a wavy shape, with environmental interpretation to high tendency of floods and erosions, with low surface runoff and higher infiltration, which allows infer that the soil of the watershed is permeable and the water infiltration occurs more efficiently. Thus, evaluation of morphometric together geoprocessing tools makes the planning and management of natural resources aiming its conservation a possibility.

**KEY WORDS:** Environmental Conservation, Geoprocessing, Watershed.

## RESUMEN

El siguiente estudio tuvo como objetivo realizar la caracterización morfométrica de la corriente de cuencas de Agua Amarela, Itaberá-SP, a través de técnicas de geoprocesamiento. Se calcularon los parámetros morfométricos: pendiente, relación de desahogo, densidad de drenaje, coeficiente de rugosidad, factor de forma, índice de circularidad y el coeficiente de compacidad. Los resultados mostraron que la cuenca tiene una forma ondulada, con interpretación ambiental para la tendencia alcista de las inundaciones y erosiones, bajo la esorrentía y aumento de la infiltración, lo que nos permite inferir que el suelo de la cuenca es permeable y la infiltración del agua se produce más de moda eficiente. Por lo tanto, la evaluación morfométrica en conjunto con las herramientas de geoprocesamiento, hace posible la planificación y la gestión de los recursos hídricos destinados a su conservación.

**PALABRAS-CLAVE:** Conservación Ambiental, Geoprocesamiento, Cuenca Hidrográfica.

## **INTRODUÇÃO**

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns processos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como finalidade esclarecer os vários pontos relacionados com o entrosamento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al, 2007).

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é definida como um conjunto de artifícios metodológicos que tem como orientação, a investigação e concepção científica dos elementos naturais de uma bacia hidrográfica. Os estudos relacionados aos cursos fluviais por meio de processos sistêmicos e racionais como parâmetros quantitativos podem levar ao esclarecimento de vários pontos da morfogênese e morfodinâmica da paisagem, tendo em vista que a rede de drenagem adquire papel de evidência na compartimentação do relevo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2009).

O desempenho hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1976). Assim, as características físicas e bióticas de uma bacia têm importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, os escoamentos superficial e sub-superficial. Além disso, o desempenho hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por atuações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico (TONELLO, 2005).

Neste contexto, a análise morfométrica satisfaz a um conjunto de processos que caracterizam aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, servindo como indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e a interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1999), que por sua vez comprovam situações e valores que extrapolam os assuntos hidrológicos e geomorfológicos.

## **OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo demonstrar as possibilidades de uso dos parâmetros morfométricos como elementos de suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental, valendo-se do uso de técnicas de geoprocessamento utilizados para a caracterização de bacias hidrográficas.

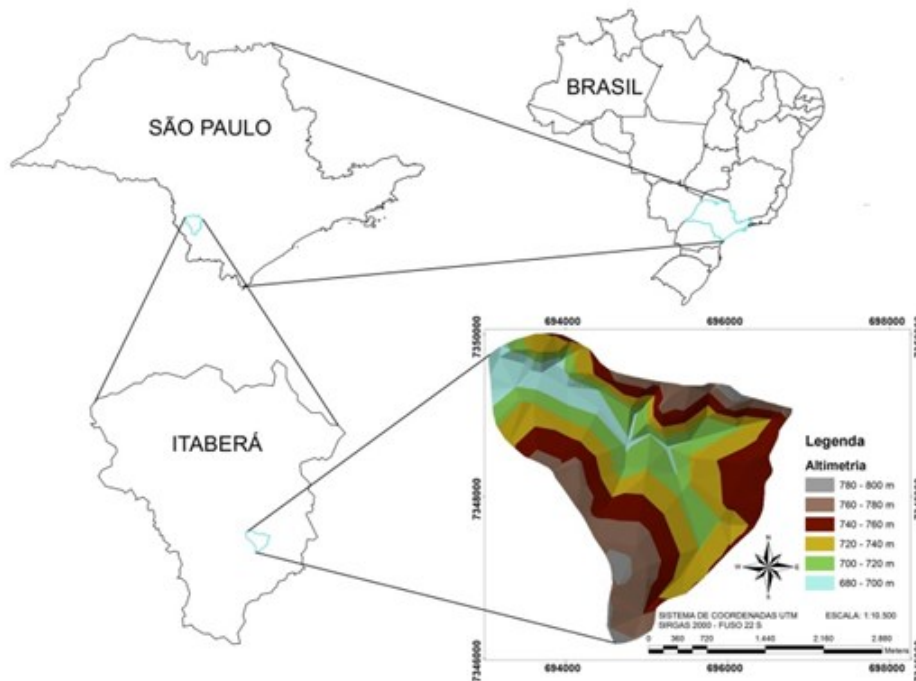
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

A microbacia hidrográfica do córrego da Água Amarela está inserida no município de Itaberá, região sul/sudoeste do Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1). Está situada entre as

coordenadas geográficas 49° 03' 52" a 49° 06' 11" de longitude W Gr. e 23° 56' 25" a 23° 59' 9" a de latitude S. A área total da microbacia hidrográfica do córrego da Água Amarela é de 751,84 hectares (BARROS et al, 2015).

Figura 1: Localização da microbacia do Córrego da Água Amarela, Itaberá-SP.



O clima da região, conforme classificação de Köppen é do tipo Cwa sendo definido como clima subtropical/clima tropical de altitude; a temperatura média anual é de 20,6°C e precipitação média anual de 1193,7 mm, com altitude de 640 metros (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI, 2016).

Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (2006), o município de Itaberá possui vocação agrícola, voltada para as atividades da pecuária e o cultivo das culturas temporárias, com destaque para o milho, feijão, trigo e soja.

#### Variáveis e/ou parâmetros morfométricos

##### Declividade Média

A declividade média (D%) de uma microbacia é a relação entre a somatória do comprimento das curvas de nível ( $\sum C_n$ ) multiplicada pela equidistância entre as cotas ( $\Delta H$ ) e dividida pela área (A) da microbacia (CAMPOS et al., 2012). Pode ser calculada pela Equação 1.

$$D = \frac{\sum Cn \times \Delta H}{A} \times 100 \quad (1)$$

Onde D = declividade média (%),  $\sum Cn$  = somatória do comprimento das cotas (km),  $\Delta H$  = equidistância entre as cotas (km), A = área da bacia (km<sup>2</sup>). As classes de declividade podem ser separadas em seis intervalos distintos, de acordo com EMBRAPA (2006), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação de classes de declividade

Classe de declividade (%)	Tipo de relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte ondulado
45 – 75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: Embrapa (2006).

### Razão do relevo

A razão de relevo (Rr) segundo Rodrigues et al. (2011), é obtida através da relação entre a amplitude altimétrica (H) e o seu maior comprimento (C), que corresponde a aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas. É calculada conforme a Equação 2.

$$Rr = \frac{H}{C} \quad (2)$$

Onde Rr = razão de relevo, H = amplitude altimétrica (m), C = maior comprimento (m).

Segundo Piedade (1980), utilizam-se os seguintes valores para quantificar a razão de relevo: baixa entre 0,0 a 0,10; média entre 0,11 a 0,30; e alta entre 0,31 a 0,60.

### Coefficiente de rugosidade

Esse coeficiente é um parâmetro que direciona o uso potencial das terras rurais em bacias hidrográficas, determinando o potencial de uso do solo, para atividades de agricultura, pecuária, silvicultura, reflorestamento ou preservação permanente (SIQUEIRA et al., 2012). Quanto maior for o valor de Rn, maior é a susceptibilidade de ocorrência de erosões dentro da área da microbacia.

O coeficiente de rugosidade ( $R_n$ ), de acordo com Rocha e Kurtz (2001) é determinado pelo produto entre a densidade de drenagem ( $D_d$ ) e a declividade média ( $D\%$ ). Calculado pela Equação 3.

$$R_n = D_d \times D\% \quad (3)$$

Onde  $R_n$  = coeficiente de rugosidade,  $D_d$  = densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ ),  $D\%$  = declividade média (%).

Para a interpretação do coeficiente de rugosidade considerou-se a classificação apresentada por Rocha e Kurtz (2001), onde os coeficientes de rugosidade estão distribuídos em quatro classes: A, B, C, D, com terras propícias respectivamente para: agricultura, pastagens, pastagens/reflorestamento, e reflorestamento (Tabela 2).

**Tabela 2: Classes de usos dos solos de acordo com o coeficiente de rugosidade.**

Coeficiente de rugosidade	Classe	Propensão da terra
1,09 – 10,63	A	Agricultura
10,43 – 20,18	B	Pastagens
20,19 – 29,73	C	Pastagens/Reflorestamento
29,74 – 39,28	D	Reflorestamento

Fonte: Adaptado de Rocha e Kurtz (2001) apud Siqueira et al. (2012).

### Fator de forma

O fator de forma ( $F_f$ ) correlaciona à forma da microbacia a de um retângulo, é determinado pela razão entre a área da microbacia ( $A$ ) com o maior comprimento ( $C$ ) elevado ao quadrado. É calculado pela Equação 4, proposta por Horton (1945). Comparativamente, bacias de fator de forma maior, mais próximos de 1,0, têm maiores chances de sofrerem inundações do que bacias de fator de forma menor (LIMA, 2008).

$$F_f = \frac{A}{C^2} \quad (4)$$

Onde  $F_f$  = fator de forma,  $A$  = área da bacia ( $\text{km}^2$ ),  $C$  = maior comprimento (km).

### Índice de circularidade

O índice de circularidade ( $I_c$ ) também permite visualizar a forma e compara a microbacia a figura geométrica do círculo (RODRIGUES et al., 2013). Esse índice (Equação 5) correlaciona a razão entre a área da microbacia ( $A$ ) pelo perímetro do divisor topográfico ( $P$ ) ao quadrado, multiplicado pelo coeficiente da fórmula (12,57).



Quanto mais próximo de 1,0, mais próxima da forma circular será a bacia hidrográfica, com maior tendência a enchentes e diminui à medida que a forma torna-se alongada, com tendência a conservação (LIMA, 2008; SIQUEIRA et al., 2012; RODRIGUES et al., 2013).

$$Ic = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad (5)$$

Onde  $Ic$  = índice de circularidade,  $A$  = área da microbacia ( $\text{km}^2$ ),  $P$  = perímetro do divisor topográfico (km).

### Coeficiente de compacidade

O coeficiente de compacidade ( $Kc$ ) relaciona o formato de uma bacia com o de um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (SIQUEIRA et al., 2012). Esse coeficiente (Equação 6) correlaciona a razão do perímetro do divisor topográfico ( $P$ ) pela raiz quadrada da área da microbacia ( $A$ ), multiplicado pelo coeficiente da Equação (0,28).

$$Kc = 0,28 \times \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (6)$$

Onde  $Kc$  = coeficiente de compacidade,  $P$  = perímetro do divisor topográfico (km),  $A$  = área da microbacia ( $\text{km}^2$ ).

Conforme maior for à irregularidade da bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente inferior ou igual a 1,0 corresponde a uma bacia circular, portanto, com maior susceptibilidade a enchentes e assoreamentos na rede de drenagem, para uma bacia alongada, seu valor seria superior a 1,7 com maiores tendências à conservação ambiental (NARDINI et al., 2013; RODRIGUES et al., 2013).

**Tabela 3: Valores, formatos e interpretação do fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc).**

Ff	Ic	Kc	Formato	Interpretação ambiental
1,00 a 0,75	1,00 a 0,80	1,00 a 1,25	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,75 a 0,50	0,80 a 0,60	1,25 a 1,50	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
0,50 a 0,30	0,60 a 0,40	1,50 a 1,70	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
<0,30	<0,40	<1,70	Comprida	Tendência à conservação

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975) apud Nardini et al. (2013).

### Densidade de drenagem

A densidade de drenagem ( $Dd$ ) é um índice importante, pois reflete a influência da geologia, topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, está relacionado com o tempo gasto

para a saída do escoamento superficial da bacia (LIMA, 2008). É calculada pela razão (Equação 7) entre o comprimento de drenagem (Cr) com a área da microbacia (A), proposta por Horton (1945).

$$D = \frac{\sum C_n \times \Delta H}{A} \times 100 \quad (7)$$

onde Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>), Cr = comprimento da drenagem (km), A = área da bacia (km<sup>2</sup>).

França (1968) classificou a densidade de drenagem em: baixa (< 1,5 km/km<sup>2</sup>), média (1,5 a 2,5 km/km<sup>2</sup>), alta (2,5 a 3,0 km/km<sup>2</sup>) e super alta (> 3,0 km/km<sup>2</sup>), de acordo com a Tabela 4.

**Tabela 4: Valores, classificação e interpretação dos resultados da densidade de drenagem.**

Dd (km/km <sup>2</sup> )	Classificação	Interpretação ambiental
< 1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,5 a 2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial
2,5 a 3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
>3,0	Super alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão.

Fonte: Adaptado de Horton (1945), Strahler (1957), França (1968) apud Rodrigues et al. (2013).

## RESULTADOS

Os resultados encontrados para as variáveis e parâmetros morfométricos relacionados à dimensão, ao relevo, à forma e drenagem, da microbacia do Córrego da Água Amarela estão presentes na Tabela 5.



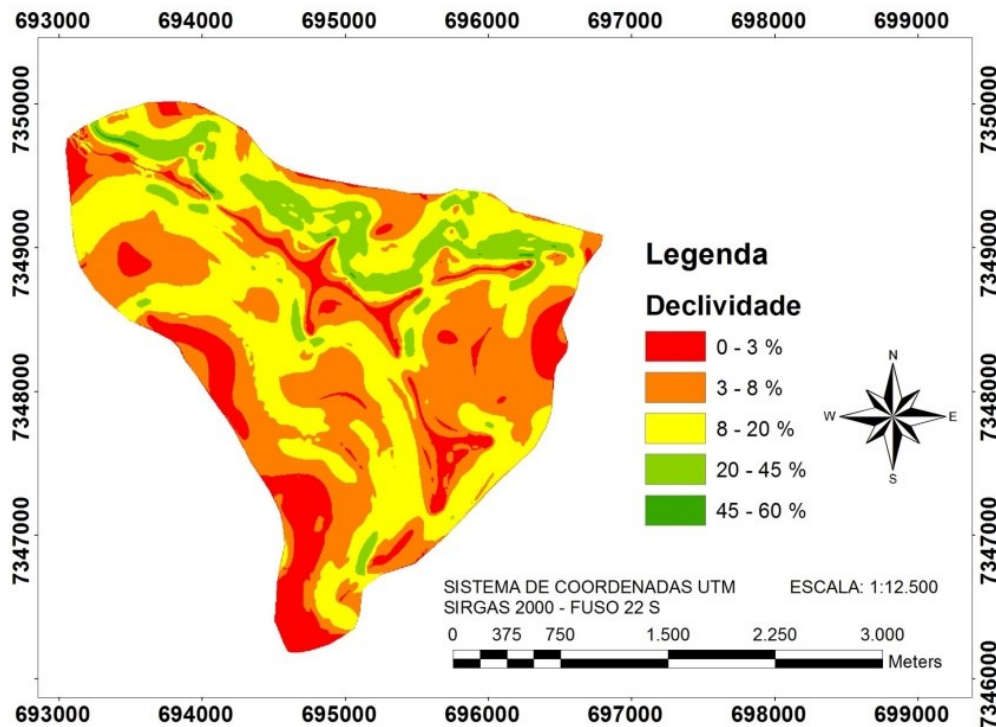
Tabela 5: Características morfométricas da microbacia.

Variáveis e parâmetros morfométricos	Unidade	Resultados
Relacionados à dimensão		
Área – A	Km	7,52
Perímetro – P	km	12,19
Maior comprimento – C	Km	3,42
Comprimento da drenagem – Cr	Km	9,27
Comprimento das cotas – Cn	Km	40,74
Relacionados ao relevo		
Declividade média – D	%	10,84
Amplitude altimétrica – H	m	100
Razão do relevo – Rr	-	0,029
Coefficiente de rugosidade – Rn	-	13,36
Fator de forma – Ff	-	0,64
Índice de circularidade – Ic	-	0,64
Coefficiente de compacidade – Kc	-	1,24
Relacionados à drenagem		
Densidade da drenagem – Dd	Km/km <sup>2</sup>	1,23

A microbacia possui uma área (A) de 7,52 km<sup>2</sup>, com perímetro (P) de 12,19 km, comprimento de drenagem (Cr) de 9,27 km e comprimento do canal principal (Ccp) de 4,74 km.

A declividade média (D) da microbacia estudada foi de 10,84 % que segundo a classificação de solos da Embrapa (2006) para classes de declive, o relevo da microbacia é considerado como ondulado, o que caracteriza uma moderada declividade que gera um escoamento superficial de maior velocidade, o que permite inferir que existe maior suscetibilidade a erosão, como é possível analisar na Figura 2.

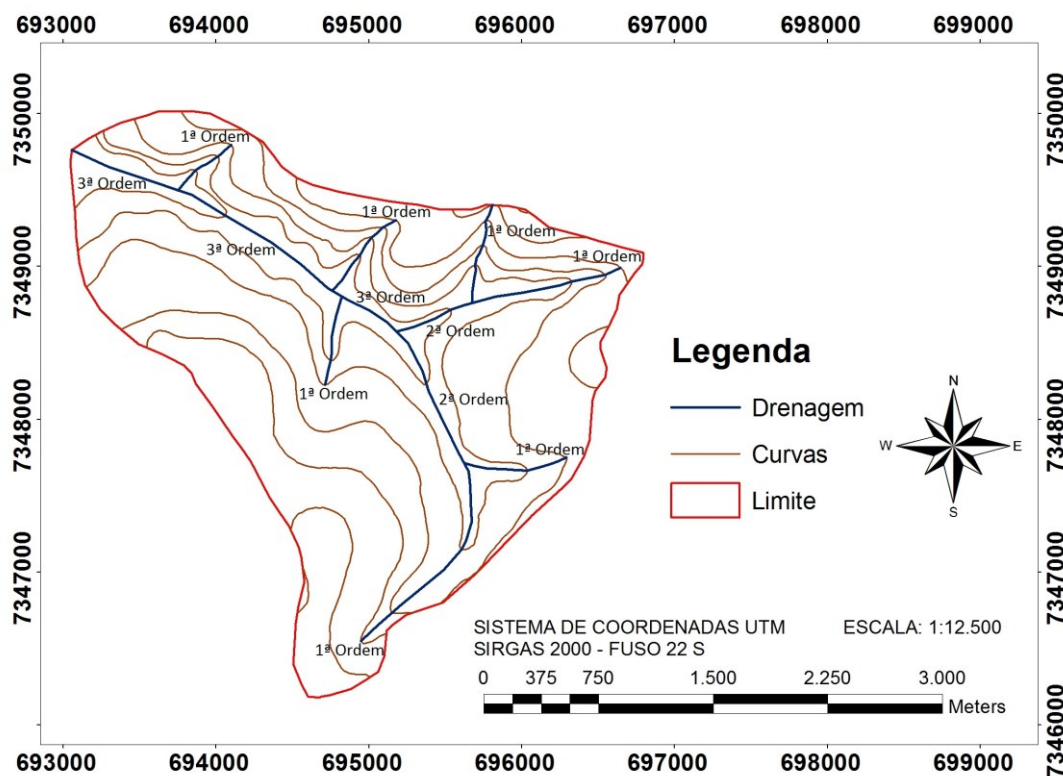
Figura 2: Mapa de declividade da microbacia do Córrego da Água Amarela, Itaberá-SP.



A razão de relevo (Rr) que refere-se a maior ou menor velocidade da água que escoar na bacia, foi encontrado o valor de 0,029, que classificado por Piedade (1980) como um valor baixo, assim, indicando uma menor velocidade de escoamento superficial, possibilitando uma melhor infiltração da água no solo.

A microbacia hidrográfica do Córrego da Água Amarela apresenta um total de 13 segmentos de rios e é caracterizada como sendo de 3ª ordem (Figura 3), como é possível observar a microbacia apresenta sete segmentos de 1ª ordem, dois de 2ª ordem e quatro de 3ª ordem.

Figura 3: Ordem dos rios da microbacia do Córrego da Água Amarela, Itaberá-SP.



Para o coeficiente de rugosidade ( $R_n$ ) foi encontrado o índice na ordem de 13,36, assim classificando o solo como classe B, propicia apenas para pastagens, segundo classificação proposta por Rocha e Kurtz (2001); Rodrigues et al. (2013).

Os parâmetros relacionados as variáveis de forma apresentados na Tabela 5, comprovaram que através do fator de forma ( $F_f$ ), índice de circularidade ( $I_c$ ) e coeficiente de compacidade ( $K_c$ ), a microbacia pode ser classificada como sendo redonda, possuindo nos referentes pontos alta tendência a enchentes, de acordo com a classificação de Villela e Mattos (1975).

Com relação à densidade de drenagem ( $D_d$ ) o resultado encontrado foi de  $1,23 \text{ km/km}^2$ , o que segundo classificação proposta por Horton (1945) e adaptada por França (1968) apud Rodrigues et al (2013), permite classificar a  $D_d$  como sendo baixa, com baixo escoamento superficial e maior infiltração, o que possibilita inferir que o solo da microbacia é permeável e a infiltração da água ocorre de forma mais eficiente.

## CONCLUSÃO

Com os parâmetros estudados foi possível averiguar que a microbacia do córrego da Água Amarela encontra-se com condições de conservação ambiental satisfatória, entretanto, apresenta riscos de susceptibilidade à erosão e alguns pontos de degradação ambiental, sendo fundamental a manutenção e o gerenciamento da cobertura vegetal.

Neste contexto, a caracterização morfométrica da microbacia é um dos estudos importantes a serem executados em análises hidrológicas como ambientais, visto que esta caracterização é capaz de dar suporte na avaliação do potencial hídrico da região.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, A. C. et al. Sistema de informação geográfica na identificação de conflitos ambientais em áreas de preservação permanente. **Revista Holos Environment**, Rio Claro, v.15, n. 2, p. 152-158, 2015.
- CAMPOS, S.; SILVA, C. O.; GARCIA, Y. M. Avaliação Morfométrica da Microbacia do Ribeirão Benfica - Piquete (SP). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 8, n. 2, p. 407-421, 2012.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas – Itaberá**. 2016. Disponível em: < [http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_251.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_251.html)>. Acesso em 15 mar. 2016.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.
- FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1968.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, New York, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de Geomorfologia / IBGE**, Coordenação de Recursos naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Plano diretor participativo do município de Itaberá**, SP. São Paulo: IPT, 2006. 55 p. (Parecer Técnico n. 10.852-301, v. 1, 2 e 3).
- LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Departamento de Ciências Florestais Piracicaba - São Paulo. Piracicaba, 2008.
- LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.
- NARDINI, R. C. et al. Análise Morfométrica e Simulação das Áreas de Preservação Permanente de uma Microbacia Hidrográfica. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013.
- PIEDEDE, G. C. R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP**. 1980. 161 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1980.
- ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: UFSM/CCR, 2001. 120 p.
- RODRIGUES, M. T. et al. Análise morfométrica da microbacia do Córrego do Vangasse - Pratânia/SP. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 9, n. 2, p. 475-482, 2013.
- SIQUEIRA, H. E. et al. Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do Rio Veríssimo, Veríssimo - MG. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 2236-2248, 2012.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, DC, v. 38, n. 6, p. 913-20, 1957.

TEODORO, V. L. I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, SP, n.20, p. 136-155, 2007.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.